

На правах рукописи

Серова Татьяна Александровна

**Микобиота деревянных конструкций
исторических зданий Санкт-Петербурга**

Шифр и наименование специальности:
03.02.12 – микология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург
2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР)

Научный руководитель:

Титова Юлия Анатольевна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР)

Официальные оппоненты:

Власов Дмитрий Юрьевич

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры ботаники биолого-почвенного факультета Федерального государственного бюджетного научного учреждения высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБУ ВПО СПбГУ)

Стороженко Владимир Григорьевич

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

Защита состоится 22 октября 2015 г. в 14 час. на заседании диссертационного совета Д 006.015.01 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР) по адресу: 196608, Санкт-Петербург-Пушкин, шоссе Подбельского, д. 3, тел./факс (812)470-51-10, e-mail: info@vizr.spb.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЗР и на сайте института: vizr.spb.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

**Наседкина
Галина Анатольевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема биоповреждений исторических и культурных ценностей – одна из центральных в системе мероприятий по их сохранению и умножению. Одна из групп историко-культурных ценностей – памятники архитектуры. Биоповреждения этих зданий и сооружений носят характер биодеструкции различных их частей. Наибольшую значимость в этой связи приобретает биodeградация древесины, которая издревле используется как строительный материал. Древесина – материал растительного происхождения, представляющий собой совокупность органических веществ, которые активно подвергаются биодеструкции микроорганизмами. Для сохранности и реставрации исторических ценностей – это основной недостаток деревянных конструкций и сооружений в целом, поскольку при глубокой биодеструкции последних реставрационные мероприятия становятся не эффективными и исторические памятники могут быть утрачены (Физдель, 1970; Курьянова, 2010).

Степень разработанности темы. Древесина как материал содержит высокомолекулярные комплексы полисахаридов (лигнин и целлюлоза), обеспечивающие ее уникальные механические свойства, и глубокую биodeградацию древесины конструкций способны осуществлять лишь грибы. Микромицеты-биодеструкторы, разрушая в основном целлюлозу, способны отщеплять олигомеры от биополимеров древесины и усваивать компоненты различных ароматических соединений, входящих в состав лигнина, обеспечивая себя и других микроорганизмов трофической базой для развития (Беккер, 1963; Билай, 1977; Дьяков и др., 2001). Но наиболее активные разрушители древесины – базидиальные макромицеты, способные разлагать труднодоступные полисахариды этого строительного материала вплоть до полной минерализации (Бабицкая и др., 1994; Решетникова, 1997; Змитрович и др., 2007). Разрушение древесины биодеструкторами начинается вследствие изменения температурно-влажностного режима в здании. Для разработки эффективных мер по борьбе с биопоражением древесины конструкций необходимо знать, какие комплексы микро- и макромицетов развиваются на них и какие процессы происходят в субстрате при активном развитии последних. Сведения о скорости разложения структурных элементов древесины разными группами и видами грибов необходимы, т. к. позволяют прогнозировать изменение работоспособности конструкции и, соответственно, формулировать более точные рекомендации по консервации и реставрации.

Из всего вышесказанного, **цель работы:** охарактеризовать особенности микобиоты и ее воздействия на деревянные конструкции в очагах поражения исторических зданий г. Санкт-Петербурга. Для достижения поставленной цели необходимым было решение следующих **задач:**

1. Идентифицировать микобиоту в местах поражения деревянных конструкций исторических зданий г. Санкт-Петербурга.
2. Охарактеризовать особенности видового состава микро- и макромицетов очагов поражения в зависимости от места расположения конструкции в здании, ее состояния и микроклиматических особенностей помещений.

3. Выявить и охарактеризовать активно разрушающие комплексы грибов мест колонизации деревянных конструкций на разных стадиях их биодегradации.
4. Охарактеризовать особенности и определить степень разложения микро- и макромицетами в очагах поражения основных биополимеров древесины, определяющих ее механические свойства.
5. Определить эффективность воздействия микоцидных химических препаратов, применяемых в реставрации деревянных конструкций, на физиологически активные комплексы грибов.
6. Предложить подходы к консервации деревянных конструкций, препятствующие их биодегradации.

Научная новизна. В результате исследований выявлены комплексы поражающих древесину микро- и макромицетов, охарактеризованы их качественный и количественный составы и два вида смены микодеструкторов, развивающихся на пораженной древесине. Предложены постадийные схемы сукцессий от комплексов, осуществляющих первоначальную колонизацию древесины к комплексам, обуславливающим окончательное разложение субстрата. Продемонстрировано, что смены комплексов микодеструкторов проходят однотипно при сходных условиях не только на разных элементах конструкций, но и в разных зданиях, расположенных далеко друг от друга. Разработаны подходы к изучению пораженной древесины: наряду с классическими и молекулярно-генетическими методами, впервые для реставрации использованы химический, хроматографический (ВЭЖХ) и спектральные (УФ- и масс-спектрометрия) методы. Последние предложены в качестве экспресс-методов для выявления поражений деревянных конструкций, их интенсивности, направленности, доминирующих организмов и, на уровне предварительного диагноза, состава деструктурирующих древесину комплексов микобиоты.

Теоретическая и практическая значимость. Показана зависимость формирования комплексов микромицетов на деревянных конструкциях от воздействия биотических и абиотических факторов, а также особенности развития различных групп представителей микобиоты на древесине конструкций. Описаны группы доминирующих на каждой стадии разложения древесины микро- и макромицетов и характер взаимодействия разных групп представителей микобиоты друг с другом и с бактериями. Доказано сходство комплексов грибов-биодеструкторов во всех обследованных зданиях и раскрыты составы этих комплексов с указанием доминант, наиболее активных в разрушении субстрата. Изложены механизмы поражения древесины конструкций микро- и макромицетами и причины возникновения биопоражения на деревянных элементах. Получены численные эквиваленты разрушенных в ходе биодеструкции биополимеров, скомпонованные в виде показателей количественного содержания целлюлозы и лигнина, зольности и влажности субстрата, соответствующих каждой степени разложения древесины. На основании полученных результатов, уже разработаны и разрабатываются конкретные рекомендации, применяемые в современной реставрации историко-культурного наследия г. Санкт-Петербурга. Рекомендованы экспресс-методы для быстрой оценки состояния древесины, для

выявления поражений деревянных конструкций, их интенсивности, направленности, а также доминирующих биодеструкторов. Показаны краткосрочное фунгицидное и фунгистатическое действия химических препаратов, применяемых в современной реставрации на отдельные группы биодеструкторов. На основании полученных результатов разработаны схемы проведения реставрационных работ с деревянными элементами разной степени биodeградации древесины, представлены рекомендации по предохранению деревянных конструкций от биодеструкции. Результаты исследования позволяют расширить и конкретизировать нормативную базу по микологическому исследованию памятников архитектуры.

Положения, выносимые на защиту:

- Представители микобиоты колонизируют и деструктурируют историческую древесину в местах систематического увлажнения в несколько стадий со сменой комплексов вплоть до потери несущей способности элементами конструкций зданий.
- Качественный и количественный составы комплексов микро- и макромицетов, изменение механических и химических характеристик древесины под воздействием продуктов их метаболизма обуславливают скорость биодеструкции в местах поражений микобиотой.
- Эффективное предотвращение колонизации и биодеструкции исторической древесины возможно при сохранении ее влажности на уровне 8–12 % и постоянном анализе воздействия применяемых в реставрации препаратов на физиологически активные комплексы грибов.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертации доложены на конференциях: "Биотехнологии в решении экологических проблем природы, общества и человека в Евразии: взгляд молодых ученых и специалистов" (март 2013 г.), "Биология – наука XXI века" (апрель 2013 г.), "Актуальные проблемы архитектуры и строительства" (июнь 2013 г.), "Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке" (октябрь 2013 г.), "Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения" (октябрь 2013 г.), "Биологическое разнообразие как основа существования и функционирования естественных и искусственных экосистем" (июнь 2015 г.). Кроме того, апробация работы происходит по месту трудовой деятельности в ходе составления отдельных глав рабочих реставрационных планов по путям консервации и реставрации элементов конструкций исторических зданий.

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 4 печатные работы в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 212 страницах машинописного текста и состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка литературы, содержит 20 таблиц, 48 рисунков, 3 приложения. Библиографический список содержит 271 источник, в том числе 61 – иностранных авторов.

Декларация личного участия автора. Диссертация содержит фактический материал, непосредственно полученный автором в период с 2007 по 2014 гг. Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном

научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР): лаборатории микробиологической защиты растений, отделении экспресс-диагностики вредных организмов, химической и спектрального анализа лаборатории Центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБНУ ВИЗР «Инновационные технологии защиты растений».

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе обобщены сведения о грибах-биодеструкторах древесины, разновидностях гнилей, вызываемых этими организмами, охарактеризован процесс разрушения основных компонентов древесины. Представлены сведения о методах идентификации и исследования представителей микобиоты на деревянных конструкциях. Приведены данные о результатах работы по изучению микобиоты исторических памятников, проводимой другими исследователями в прошлом и в настоящее время. Обобщены данные о ходе биодеструкции древесины микро- и макромицетами, а также о разрушаемых при этом основных биополимерах древесины. Охарактеризованы свойства древесины, изменяющиеся при биодеструкции.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были элементы деревянных конструкций всех этажей и стропильной системы Каменноостровского Императорского Театра; элементы чердачного перекрытия и стропильной системы здания Гостиницы «Михайловская»; конструктивные элементы подвального помещения и первого этажа деревянного корпуса Наркологического диспансера (трех реставрационных исторических объектов); а также представители микобиоты, колонизирующие историческую древесину вышеупомянутых памятников архитектуры и обуславливающие ее биодеструкцию; современные фунгициды.

Образцы пораженных деревянных конструкций в исторических зданиях отбирали по принципам типичности, объему и степени поражения с поверхности и на глубину до 20 см механическими способами; использовали стерильную тару для отбора образцов. Каждый контрольный образец составляли из образцов, отобранных в пяти точках элемента конструкции. Использовали стандартные методы выделения и идентификации грибов: модифицированной влажной камеры; прямого посева кусочков пораженной древесины, базидиом и спороношений; тканевых культур; отпечатков фильтровальной бумаги; смыва с отпечатка; серийных разведений; очистки и выделения грибов в чистую культуру; прямого микроскопирования образцов и чистых культур. Использовали агаризованные питательные среды, полу- и синтетические, общих целей и селективные для обнаружения определенных групп макро- и микромицетов: "голодный" агар, синтетическая агаризованная среда Чапека, полусинтетические агаризованные среды на основе экстрактов различных растительных субстратов, в частности, древесины сосны обыкновенной (Stamets, 1993; Гарибова и др., 1999; Смоляницкая, 2007). Для молекулярно-генетической идентификации микобиоты древесины проводили экстракцию ДНК из отобранных образцов: классическим и модифицированным СТАВ/хлороформ, ацетатным, фенольным методами и с помощью магнитных частиц. Приготовленные экстракты подвергали полимеразной цепной реакции

(ПЦР) с использованием стандартных компонентов. Гель-электрофорезом выделяли ПЦР-продукты, которыми лигировали бактериальную плазмиду. Далее выделяли плазмидную ДНК для рестрикции, последующего секвенирования и определения таксономического положения последовательностей. Для качественного и количественного учета макро- и микромицетов, характера их развития использовали: показатели встречаемости и обилия; число колониеобразующих единиц отдельных видов, содержащихся в 1 г воздушно-сухой массы субстрата (КОЕ/г). Сходство видового состава оценивали при помощи коэффициента Жаккара; степень биодеструкции соотносили с площадью и глубиной поражения и выражали в баллах от I до III (Великанов и др., 1980; Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1980; Озерская и др., 1981; Методы экспериментальной микологии, 1982; Бабьева и др., 1983; Мирчинк, 1988; РВСН, 2006).

Количественную оценку содержания определяющих механические свойства древесины биополимеров проводили методами: прокаливанию в муфельной печи при температуре 600° С (содержание золы); высушивания при 100–105° С (влажность); количественного определения лигнина по Комарову; количественного определения целлюлозы по Кюрщнеру и Хофферу; определения содержания целлюлозы и/или лигнина в процентах от веса исходной древесины (Оболенская и др., 1955; Schwanninger et al., 2002).

Для выявления изменений количества и качества экстрактивных веществ при биоконверсии использовали методы высокоэффективной жидкостной хроматографии (тандемная система UPLC Waters ACQUITY H-класса со спектрофотометрическим УФ-детектором), ультрафиолетовой (УФ) и масс-спектрометрии (тандемный квадрупольный детектор проточного типа Waters Xevo TQD со спектрофотометрическим УФ-детектором) образцов интактной и пораженной исторической древесины сосны обыкновенной. При пробоподготовке каждый образец подвергали ультразвуковой экстракции метанолом. При идентификации спектральных пиков учитывали их количество, площадь, высоту, а также время выхода соответствующего вещества. Метод внутренней нормализации без введения в пробы стандартов применили для рассмотрения спектров в качестве специфических профилей дериватов лигнина, целлюлозы и других компонентов деструктурируемой исторической древесины по типу Finger printing в сравнении со спектрами контроля – интактной исторической древесины (Стыскин и др., 1986; Schmidt et al., 2005; Schmidt, 2007; Анисимова, 2009).

Для выявления фунгицидного и фунгистатического действий современных реставрационных препаратов были использованы в качестве тест-объектов активные биодеструкторы древесины: макромицет *Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schröt., входящие в состав деструктурирующих комплексов *Fusarium oxysporum* Schlecht., *Trichoderma viride* Pers.: Fr. и *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) Sorauer. Для сравнения с *S. lacrymans* использовали в качестве тест-культур культивируемые для пищевых целей ксилотрофные съедобные базидиомицеты *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler и *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. Анализировали воздействие на развитие тест-объектов двух рекомендованных Комитетом по государственному контролю, использованию и

охране памятников истории и культуры (КГИОП) фунгицидов в трех концентрациях: Adolit M flüssig – 16, 32 и 64 г/л раствора; Impragnierung BFA – 0.375, 0.75, 1.5 г/л. Для оценки фунгистатического действия в полусинтетическую агаризованную среду на основе экстракта древесины сосны обыкновенной добавляли соответствующие количества фунгицидов. Оценку фунгицидного действия производили методом дисков (Методы экспериментальной микологии, 1982; Мирчинк, 1988).

Для статистической оценки результатов опытов применяли: расчеты производных, среднеквадратичных отклонений, стандартных ошибок, t-критерия Стьюдента (Плохинский, 1970, 1978; Доспехов, 1979). Расчеты и визуализацию материала производили с помощью программных пакетов Excel 2010 и STATISTICA 6. Таксономическую принадлежность представителей микобиоты определяли с помощью программы BLAST (Zhang et al., 2000). Анализ и идентификацию хроматограмм, УФ- и масс-спектров проводили с помощью программного обеспечения EMPOWER (Семак и др., 2011; Околов и др., 2012).

Глава 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКОБИОТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Таксономическая характеристика

Историческая древесина памятников архитектуры г. Санкт-Петербурга в интактном состоянии сохраняет влажность на уровне 8–12 %, поэтому не подвергается биодеструкции (Рядова и др., 2004). Наличие трофической базы и систематическое увлажнение приводят к поражению поверхностных слоев древесины микобиотой. Микологический анализ образцов пораженных деревянных конструкций, проведенный популяционными и молекулярными методами, позволил определить видовой состав и таксономические характеристики микро- и макромицетов – колонизаторов исторической древесины трех объектов культурного наследия г. Санкт-Петербурга. В здании Каменноостровского Императорского театра (ИТ) выявлено 57 видов микроорганизмов, из которых 4 вида бактерий и 53 вида – представители микобиоты (52 вида микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 13 семействам, 16 родам; в здании гостиницы «Михайловская» (Г) выявлен 51 вид микроорганизмов, из которых 2 вида бактерий и 49 видов – представители микобиоты (48 видов микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 12 семействам, 17 родам; в деревянном корпусе Наркологического диспансера (Д) – 105 видов микроорганизмов, из которых 4 вида бактерий, 99 видов – представители микобиоты (95 видов микромицетов и 4 вида макромицетов), относящихся к 3 отделам, 13 порядкам, 16 семействам, 24 родам (Таблица 1).

По своим таксономическим характеристикам микобиота исторической древесины трех зданий сходна. По встречаемости и обилию доминируют представители порядков *Eurotiales* и *Hypocreales*, высоко адаптивные микромицеты, способные колонизировать такой трудно разлагаемый субстрат, как древесина (Коробова, 2007).

Таблица 1. Количество видов и таксономическая характеристика микобиоты пораженных деревянных конструкций трех памятников архитектуры Санкт-Петербурга

Телеоморфа/ анаморфа	Количество видов, шт.			Телеоморфа/ анаморфа	Количество видов, шт.		
	ИТ	Г	Д		ИТ	Г	Д
1	2	3	4	4	6	7	8
Zygomycota							
Mucorales							
<u>Rhizopodaceae</u>				<u>Mucoraceae</u>			
<i>Rhizopus</i> Ehrenb.				<i>Mucor</i> Fresen.			
<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	1	1	1	<i>Mucor</i> Fresen.	3	2	2
Ascomycota							
Pleosporales				Eurotiales			
<u>Pleosporaceae</u>				<u>Trichocomaceae</u>			
<i>Lewia</i> M.E. Barr et E.G. Simmons (*)				<i>Eupenicillium</i> F. Ludw. (*)			
<i>Alternaria</i> spp.	3	4	0	<i>Penicillium</i> spp.	29	18	54
<i>Pleospora</i> Rab. ex Ces. et De Not				<i>Emericella</i> Berk (*)			
<i>Stemphylium</i> sp.	0	1	1	<i>Aspergillus</i> spp.	3	5	10
<i>Ulocladium</i> sp.	0	0	0	<i>Byssochlamys</i> Westl.			
Mytilinidiales				<i>Paecilomyces</i> sp.	0	0	1*
<u>Mytiliniaceae</u>				<i>Spicaria</i> sp.	0	0	1
<i>Glyphium</i> Nitschke ex F. Lehm.				Microascales			
<i>Taeniola</i> sp.	1	0	0	<u>Microascaceae</u>			
Capnodiales				<i>Microascus</i> Zuckl.			
<u>Cladosporiaceae</u>				<i>Scopulariopsis</i> sp.	1	0	1
<i>Davidiella</i> Crous et U. Braun				Hypocreales			
<i>Cladosporium</i> spp.	2	0	3	<u>Hypocreaceae</u>			
Dothideales				<i>Hypocrea</i> Fr.			
<u>Sacrotheciaceae</u>				<i>Trichoderma</i> spp.	1	1	3
<i>Discosphaerina</i> Höhn.				<i>Gliocladium</i> sp.	0	0	1
<i>Aureobasidium</i> sp.	1	1	0	<u>Nectriaceae</u>			
Chaetothyriales				<i>Gibberella</i> Sacc.			
<u>Herpotrichiellaceae</u>				<i>Fusarium</i> spp.	2	6	4
<i>Coniochaeta</i> Damm et Crous				<i>Nectria</i> (Fr.) Fr. (*)			
<i>Phialophora</i> sp.	1	0	0	<i>Acremonium</i> spp.	2	1	2
Sordariales				<u>Niessliaceae</u>			
<u>Chaetomiaceae</u>				<i>Niesslia</i> Auersw.			
<i>Chaetomium</i> Kunze				<i>Monocillium</i> sp.	1	0	1
<i>Chaetomium</i> sp.	1	2	0	<u>Bionectriaceae</u>			
Capnidiales				<i>Bionectria ochroleuca</i> (Schwein.) Schroers et Samuels			
<u>Euantennariaceae</u>				<i>Clonostachys</i> sp.	0	1	1
<i>Antennatula</i> Fr.				<u>Plectosphaerellaceae</u>			
<i>Antennatula</i> sp.	0	0	1	<i>Hypomyces</i> (Fr.) Tul. et C. Tul.			
Helotiales				<i>Verticillium</i> spp.	0	0	2
<u>Leotiomycesidae</u>							
<i>Scytalidium</i> Pesante (*)				Insertae sedis			
<i>Scytalidium</i> sp.	0	0	1*	<i>Zygodesmus</i> sp.	0	0	1
Basidiomycota							
Polyporales				Boletales			
<u>Polyporaceae</u>				<u>Coniophoraceae</u>			

Продолжение Таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Antrodia Fr. (*)				Coniophora DC.			
A. xantha (Fr.) Bond. et Sing.	1	1*	0	C. cerebella (Pers.) Pers.	0	0	1
Fomitopsidaceae				Serpulaceae			
Coriolellus Murrill				Serpula Fr. (*)			
C. serialis (Fr.) Murrill	0	0	1	Serpula lacrymans (Wulfen) J. Schröt.	0	0	1*
Trechisporales							
Hydnodontaceae				Бактерии	4	2	6
Fibroporia Parmasto							
F. vaillantii (DC.) Parmasto	0	0	1				

Примечание: (*) – род, * – вид, выявленные популяционными и молекулярно-генетическими методами со 100/99 перекрытием/сходством, %.

В систематическом отношении выявленные микромицеты-биодеструкторы принадлежат к отделам *Zygomycota*, анаморфам *Ascomycota* и *Anamorphic fungi (Deuteromycotina)*, в экологическом плане – это мезофильные виды, способные к сапротрофному существованию на древесных субстратах и в почве (Kirk et al., 2008). Обращает на себя внимание высокая встречаемость во всех зданиях представителей одних и тех же телеоморф *Eupenicillium*, *Eurotium*, *Neosartorya*, *Gibberella* и *Nectria*. Обнаружены дереворазрушающие макромицеты – из отдела *Basidiomycota*, порядков *Polyporales* и *Boletales*. Глубокую деструкцию древесины конструкций исторических зданий осуществляли представители семейств *Polyporaceae*: *Antrodia xantha* – в зданиях Императорского театра и гостиницы «Михайловская», в здании Наркологического диспансера – *Coniophoraceae*: *Coniophora cerebella*; *Serpulaceae*: *Serpula lacrymans*; *Fomitopsidaceae*: *Coriolellus serialis* и *Hydnodontaceae*: *Fibroporia vaillantii*. Вышеупомянутые базидиомицеты – эдификаторы формирования комплексов микромицетов-деструкторов целлюлозы и лигнина (виды *Fusarium*, *Chaetomium*, *Acremonium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Scytalidium* и др.) (Таблица 1).

3.2. Комплексы микобиоты, колонизирующие древесину конструкций исторических зданий

Колонизирующие древесину конструкций исторических зданий комплексы весьма сходны как по видовому составу, так и по доле различных групп и видов микро- и макромицетов в общем пуле колонизаторов древесины. Видовое разнообразие колонизаторов поддерживается за счет редких и случайных видов микобиоты (Рисунок 1). Доминируют в комплексах, в основном, микромицеты – виды *Penicillium*, *Acremonium* и *Fusarium*, а также некоторые виды макромицетов – микодеструкторов древесины (Таблица 2). По видовому составу биодеструкторов в очагах поражения деревянных конструкций неотапливаемые помещения деревянного корпуса Наркологического диспансера и театра более близки, также наблюдали сходство составов микобиоты в образцах, отобранных со стропильных систем разных зданий. Условия поверхностной колонизации весьма схожи в этих частях зданий с резкими колебаниями суточных и сезонных температур, наличием конденсационной и капельно-жидкой влаги на поверхности

элементов деревянных конструкций. Условия подвала резко отличаются тем, что колебания температуры и влажности здесь незначительны, что приводит к увеличению количества видов микобиоты практически вдвое (Рисунок 2).

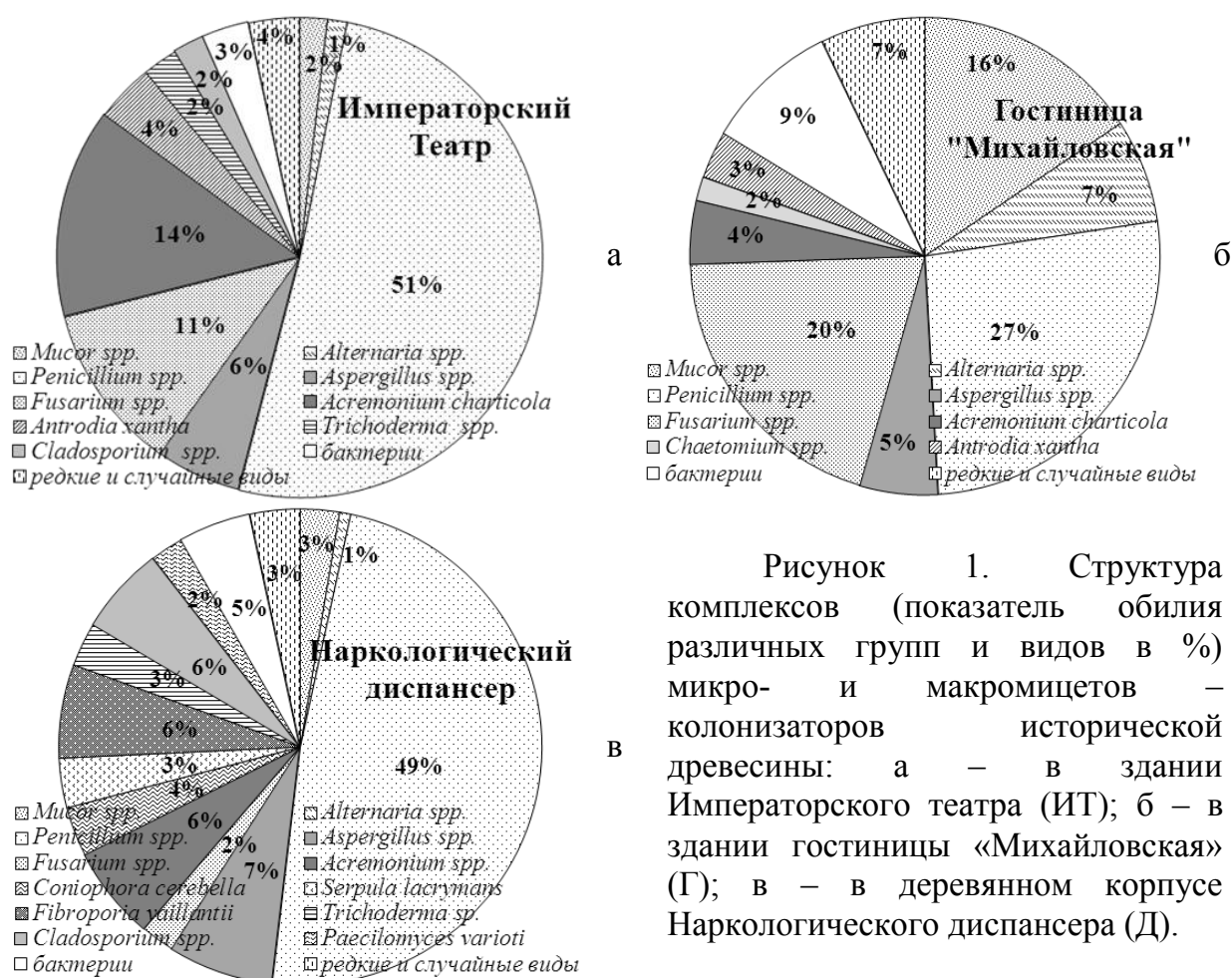


Рисунок 1. Структура комплексов (показатель обилия различных групп и видов в %) микро- и макромицетов – колонизаторов исторической древесины: а – в здании Императорского театра (ИТ); б – в здании гостиницы «Михайловская» (Г); в – в деревянном корпусе Наркологического диспансера (Д).

Таблица 2. Комплексы доминант микобиоты очагов биодеструкции древесины конструкций трех памятников архитектуры Санкт-Петербурга

Императорский Театр	
<i>Penicillium expansum</i>	22.97/7.31, <i>Fusarium aquaeductuum</i> 20.27/10.97, <i>Acremonium charticola</i> 18.92/9.40, <i>Antrodia xantha</i> 14.86/3.92, <i>Aspergillus niger</i> 14.86/3.39, <i>Penicillium nalgiole</i> 14.86/2.86, <i>P. claviforme</i> 13.51/3.66, <i>P. brevicompactum</i> 12.16/2.61, <i>Trichoderma viride</i> 12.16/2.35, <i>P. nigricans</i> 10.81/15.14
Гостиница «Михайловская»	
<i>Mucor hiemalis</i>	27.78/12.57, <i>Fusarium javanicum</i> 20.37/4.79, <i>Penicillium tardum</i> 16.67/5.99, <i>F. sporotrichioides</i> 14.81/5.99, <i>Mucor racemosus</i> 14.81/4.79, бактерии 12.96/6.59, <i>F. oxysporum</i> 12.96/4.79, <i>Antrodia xantha</i> 11.11/3.59
Наркологический диспансер	
<i>Coniophora cerebella</i>	33.33/7.33, <i>Trichoderma viride</i> 32.10/0.23, <i>Acremonium kiliense</i> 25.93/5.47, <i>A. charticola</i> 24.69/3.14, <i>Aspergillus niger</i> 24.69/3.02, <i>Penicillium simplicissimum</i> 23.46/2.44, <i>Fibroporia vaillantii</i> 22.22/4.88, <i>Serpula lacrymans</i> 22.22/4.88, <i>P. funiculosum</i> 20.09/1.98, <i>P. expansum</i> 18.52/1.86, <i>P. cyclopium</i> 16.05/1.63, <i>P. frequentans</i> 16.05/1.86, <i>P. verruculosum</i> 13.58/1.86, <i>P. solitum</i> 12.35/0.70, <i>P. steckii</i> 12.35/2.56, <i>P. decumbens</i> 14.81/1.40, <i>P. jensenii</i> 14.81/2.21, <i>Cladosporium brevi-compactum</i> 14.81/1.40, <i>C. herbarum</i> 11.11/1.74, <i>Paecilomyces varioti</i> 14.81/2.67, <i>Coriolellus serialis</i> 11.11/2.44

Примечание: около видового названия показаны значения его встречаемости/обилия (%).

Видовое разнообразие в процессе биодеструкции сначала снижалось в 1.3 раза при II-й степени, а затем повышалось в 1.2 раза, практически достигая по видовому разнообразию уровня начала биодеструкции (Рисунок 2).

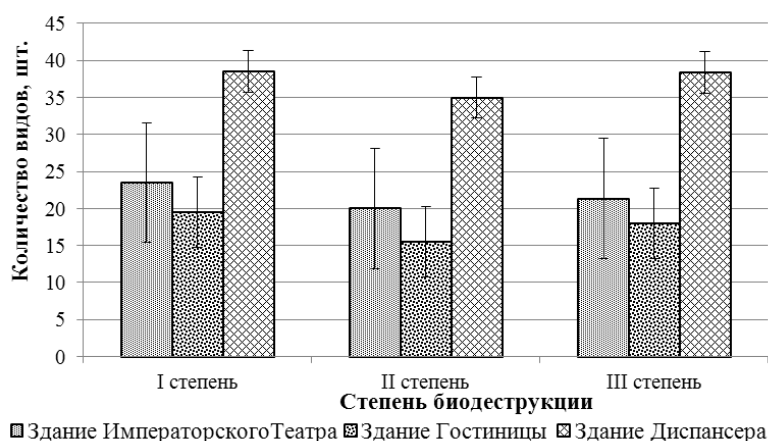


Рисунок 2. Видовое разнообразие микобиоты очагов поражения элементов деревянных конструкций исторических зданий при различной степени биодеструкции древесины.

Кроме того, эдификатор-макромицет при его включении в процесс биодegradации древесины определял видовой состав и разнообразие микромицетов в качестве ядра консорции. Сходство комплексов типичных видов биодеструкторов не более 40 % на начальной стадии разложения древесины в местах ее поражения в разных зданиях и даже на элементах конструкций одного здания. С возрастанием численности микромицетов-биодеструкторов, интенсивности биодеструкции и особенно при колонизации древесины макромицетом-эдификатором количество общих видов биодеструкторов на элементах конструкций возрастало и обуславливало более высокое (~ 55 %) сходство формировавшихся комплексов. Сходство комплексов микобиоты выше (60–63 %) в образцах, отобранных из элементов конструкций одного здания и находившихся в сходных условиях, обуславливавших одинаковую степень биодеструкции древесины конструкций.

Глава 4. МИКОСИНУЗИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ

4.1. Микосинузии различных типов деревянных конструкций

Представители микобиоты при колонизации деревянной конструкции образуют микосинузии, формирующиеся под влиянием абиотических и биотических факторов и относительно стабильные при неизменности условий (Ипатов и др., 1997; Беломесяцева, 2004; Арефьев, 2010). Биотические факторы выражаются во взаимодействии всех компонентов микосинузии и последних в консорции, при этом определяющую роль играет чаще всего макромицет-эдификатор, если он участвует в процессе разложения древесины (Смоляницкая, 2007). Абиотические факторы, такие как степень биодegradации древесины и микроклиматические условия нахождения элементов конструкций, также определяют формирование различных микосинузий, обуславливающих разную степень биодеструкции. При поверхностной колонизации в благоприятных для этого условиях складываются микосинузии микромицетов-биодеструкторов, которые, сохраняя влажность поверхностных слоев древесины на достаточном для дальнейшей колонизации уровне за счет собственных метаболических процессов, продолжают свое развитие и колонизацию доступной и подготовленной для этого части элементов, активно деструктурируя поверхностные и более глубокие слои последних (Серов и др.,

2004; Семенкова, 2008). Для всех микосинузий исследованных зданий было характерным присутствие видов *Penicillium* с общей 100 %-й встречаемостью, 40 %-м обилием и численностью до $\times 10^7$ КОЕ/г.

Начало микодеструкции характеризовалось преобладанием видов *Penicillium* – с общей 100 %-й встречаемостью, 40 %-м обилием и численностью 2×10^6 КОЕ/г, *Aspergillus* – с общей 34 %-й встречаемостью, 7 %-м обилием и численностью 1×10^5 КОЕ/г и *Fusarium* – с общей 40 %-й встречаемостью, 15 %-м обилием и численностью 3×10^5 КОЕ/г. Высокая численность этих микромицетов в образцах древесины конструкций, а также выявление молекулярно-генетическими методами – свидетельство их участия в биодеструкции древесины (Рисунок 3).

Вторая стадия микодеструкции также характеризовалась преобладанием видов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Fusarium*, совокупная доля которых в микосинузиях элементов II-й степени биодеструкции составляла 43–76 %, то есть более половины колонизирующих элемент микромицетов. Кроме высокого обилия в образцах древесины II-й степени биодеструкции виды *Penicillium* и *Fusarium* преобладают в количественном отношении по показателю КОЕ/г деструктурированного субстрата: количество только этих видов в некоторых образцах достигало 3×10^6 КОЕ/г, что свидетельствовало об их активном участии в биодеструкции древесины (Рисунок 3).

Видовое разнообразие микромицетов существенно изменялось в процессе развития биодеструкции с участием макромицета. На начальном этапе III-й степени биодеструкции видовое разнообразие было невелико в связи с тем, что макромицет, активно разрушая древесину конструкции, конкурировал с микромицетами (Рисунок 3). При биодеструкции макромицетом древесины конструкций формируется трофическая база для нового увеличения разнообразия и численности как для микроорганизмов, не принимающих непосредственного участия в биодеструкции компонентов конструкций, так и для грибов, способных к ее осуществлению. Это проявлялось в увеличении до 10–20 % обилия видов *Fusarium*, *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor* и бактерий в образцах деструктурированных элементов конструкций зданий. Выявлено сходство микосинузий на пораженных деревянных элементах в одной и той же стадии биодеградаци, не только в одном здании, но и в разных зданиях, расположенных далеко друг от друга. Это означает, что сукцессия микобиоты на древесине протекает однотипно, со сменой видов одних и тех же родов микромицетов. Колонизируя древесину с поверхности при благоприятных условиях, микромицеты подготавливают ее и для колонизации макромицетом, выделяя продукты жизнедеятельности и сохраняя метаболическую воду в субстрате. Поэтому макромицет может поселиться не только в местах агрессивного воздействия влаги на древесину, но и в тех местах, где происходит интенсивная колонизация субстрата и успешное развитие микромицетов на нем.

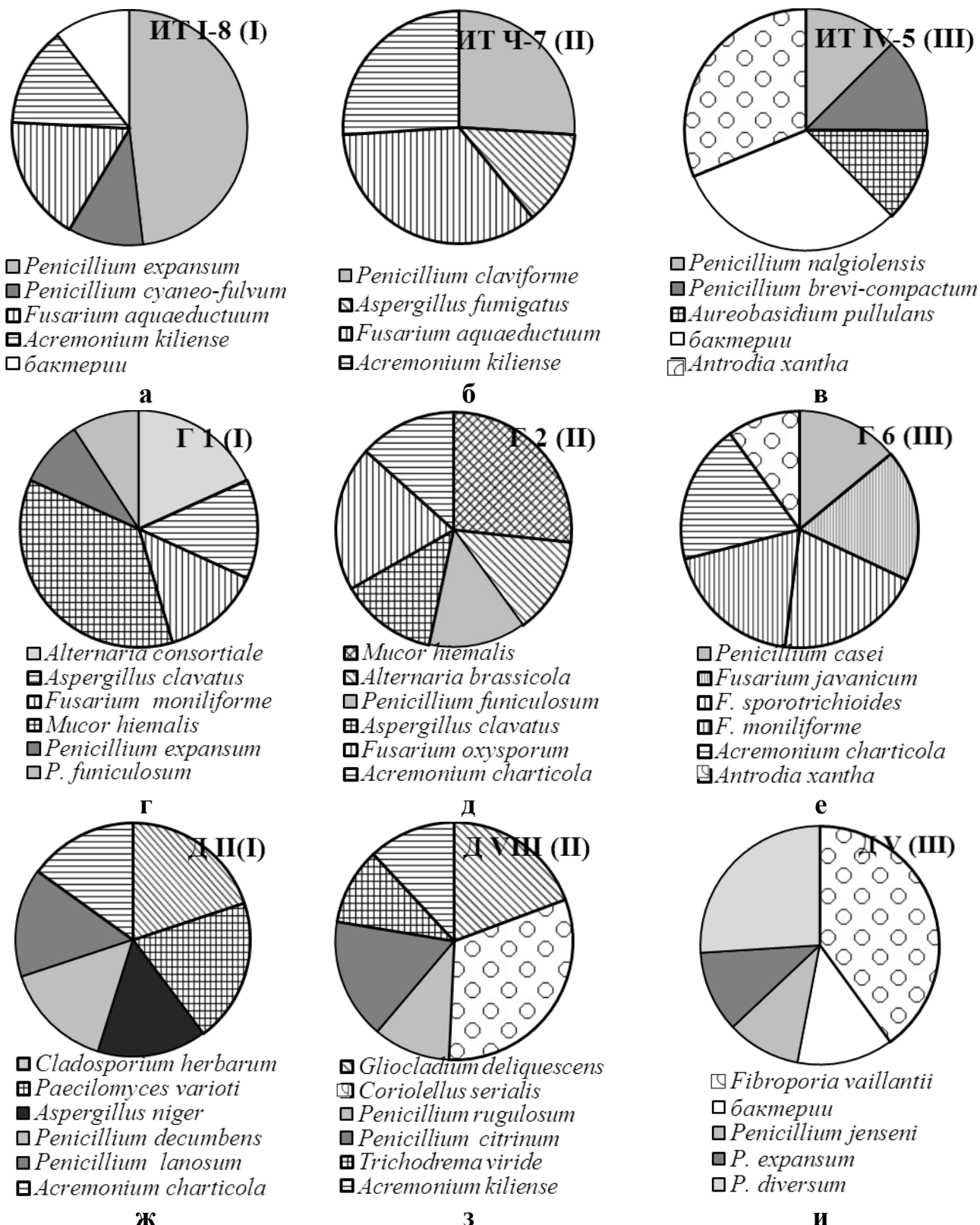


Рисунок 3. Структура микосинузий на пораженной исторической древесине в зданиях (а–в) Императорского театра (ИТ), (г–е) Гостиницы (Г), (ж–и) Наркологического диспансера (Д): а, г, ж – I-й; б, д, з – II-й; в, е, и – III-й степеней биодеструкции.

4.2. Сукцессии микобиоты в процессе биодеструкции исторической древесины элементов конструкций

По данным литературы сукцессия микобиоты на древесине – направленный процесс первоначального развития разноцветной мягкой тлеющей гнили поверхностных слоев, вызываемой микромицетами,

переходящей в деструктивные бурую или белую гнили, вызываемые базидиомицетами, а чаще в смешанные, вызываемые микро- и макромицетами (Бондарцев, 1953, 1956; Крейцберг, 1976; Михалева, 2002; Семенкова, 2008). Микобиота проявляет высочайшую чувствительность к уровню и колебаниям температуры и влажности. Определенные сочетания этих факторов, а также продолжительность их совместного действия обуславливают для микобиоты возможности контакта с субстратом, степень развития патологического процесса, продуктивность макро- и микромицетов, скорость рассеивания спор, степень проявления поражения (Лилли и др., 1953; Balazs et al., 1998; Семенкова, 2008). Наиболее активно колонизируется и подвергается воздействию дереворазрушающих грибов слабоувлажненная (20–70 %) с градиентом влажности древесина, находящаяся в условиях плохой вентиляции при температуре 18–22° С (Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002). В этих случаях наблюдается очень быстрая сукцессия биодеструкторов древесины, так как поверхностная биodeградация, запускаемая и поддерживаемая оптимальными абиотическими факторами, сама служит оптимальным биотическим фактором глубокой и широкой биодеструкции древесины ксилотрофными базидиомицетами, способными разрушать даже обработанную фунгицидами древесину (Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002; Рядова и др., 2004; Schmidt, 2007). В обследованных памятниках архитектуры наблюдали поверхностную деструкцию микромицетами при увеличении агрессивности абиотических факторов: дифференциальной влажности на фоне суточных и сезонных колебаний температуры воздуха и деревянных конструкций; все стадии деструктивной и смешанной гнилей с участием ксилотрофных базидиомицетов – прямые указания на два типа сукцессий микроорганизмов, происходящих в исторических зданиях. Один тип выявлен при биодеструкции древесины конструкций макромицетом – быстрые сукцессии, второй тип – микодеструкция, осуществляемая микромицетами без участия базидиомицетов – медленные сукцессии (Рисунок 4).

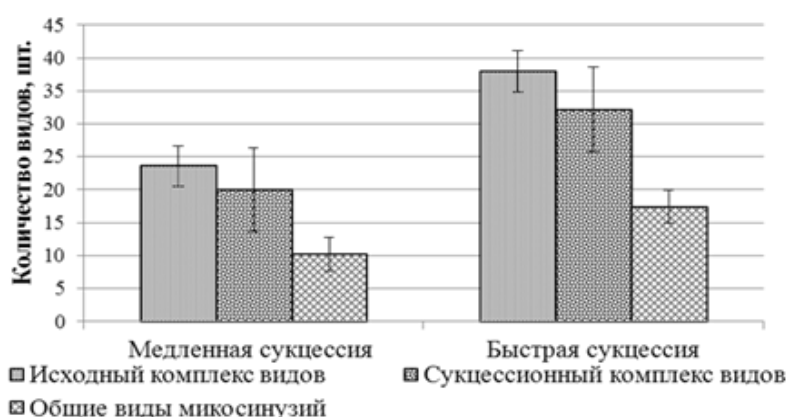


Рисунок 4. Сукцессии микодеструкторов исторической древесины конструкций.

Эти сукцессии имеют ряд особенностей, определяемых доминантом-биодеструктором и условиями биodeградации древесины (Рисунок 5). К особенностям относятся объем элемента конструкции, подвергшийся поражению и биодеструкции, а также наличие конкурентов в этом процессе.

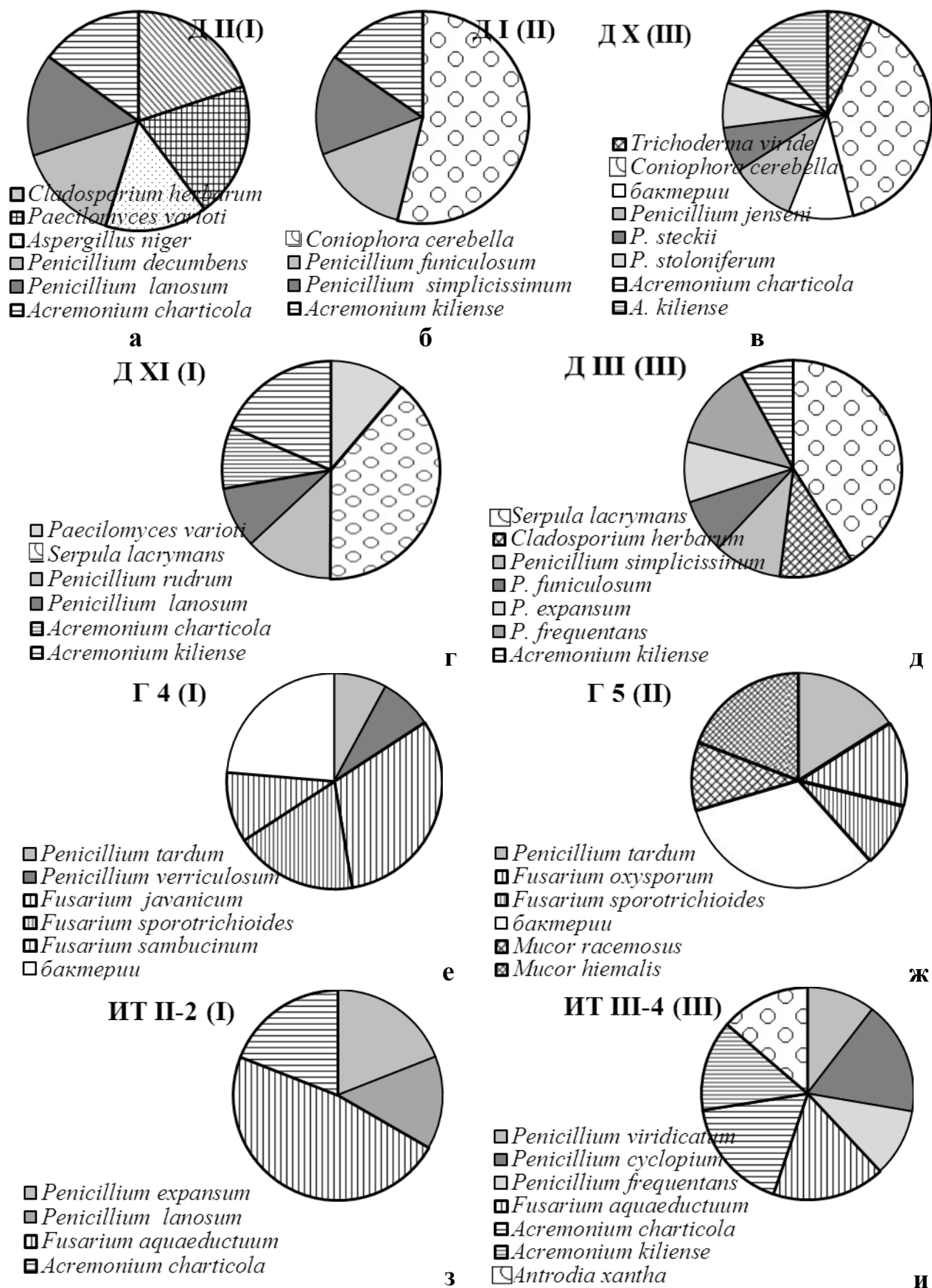


Рисунок 5. Сукцессии микобиоты в процессе биодеструкции исторической древесины элементов конструкций: а–в, г–д – в здании Наркологического диспансера (Д); е–ж – в здании Гостиницы (Г); з–и – в здании Императорского театра (ИТ).

Полной деградации древесины конструкций с потерей механических свойств при сукцессиях с участием микромицетов не наблюдали (Рисунок 5 е–ж).

В этих случаях биодеструкция достигала лишь II-й степени в виде упомянутой выше мягкой гнили поверхностных слоев в очагах поражения элементов конструкций. В отсутствие макромицета биодеструкция осуществляется устойчивым комплексом видов *Penicillium*, *Fusarium*, *Acremonium* и *Aspergillus*, характерным для всех обследованных исторических зданий с 40–50 %-м обилием и численностью $\times 10^6$ КОЕ/г (Рисунок 5). При появлении макромицета в ходе сукцессии биодеградация древесины происходит значительно быстрее и достигает последней степени потери материалом своих механических свойств. По мере захвата объема древесины и ее деградации макромицетом происходит замещение им части микромицетов-деструкторов, увеличение доли этого доминанта в микосинузиях, сначала уменьшение, а затем увеличение разнообразия микромицетов с невысоким обилием каждого из видов (~ 20 %) при повышенной на порядок численности ($\times 10^7$ КОЕ/г). Нами выявлена также способность комплекса видов *Penicillium*, *Fusarium*, *Acremonium* и *Aspergillus* осуществлять биодеструкцию совместно с макромицетами, особенно при средней степени деградации древесины конструкций (Рисунок 4 з-и). То есть на деформируемой древесине конструкций исторических зданий наблюдаются различные сукцессии микроорганизмов, активно (с участием в биодеструкции), или пассивно (сопутствующая микробиота) вовлеченных в процессы биодеградации. Сукцессии могут протекать с незначительной скоростью (многие годы) и оканчиваться стабилизацией комплекса микромицетов-биодеструкторов по обилию и численности на уровнях, обеспечивающих их жизнедеятельность, или редукцией микосинузий до отдельных видов с невысокой численностью при неблагоприятных для биодеградации древесины условиях. При включении ксилотрофных базидиомицетов в процессы биодеструкции наблюдаются лавинообразные (1–3 года) сукцессии с замещением макромицетом значительной доли участия в деградации древесины микромицетов-биодеструкторов, сокращением разнообразия микосинузий, уменьшением численности деформирующих и сопутствующих представителей микробиоты. Подобные сукцессии заканчиваются полным распадом древесины, обрушением конструктивных элементов, уменьшением размеров таллома макромицета, образованием базидиом и/или ресупинатных плодовых тел, т. е. переходом в репродуктивную стадию развития, отмиранием и автолизом гиф макромицета.

Глава 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ МИКОБИОТЫ НА ДРЕВЕСИНУ КОНСТРУКЦИЙ

5.1. Изменение количества основных биополимеров древесины и ее состояния в процессе биодеструкции

Основные источники питания макро- и микромицетов на древесине – целлюлоза и лигнин, определяющие механические свойства этого материала. Для понимания процесса деструкции грибами и того, как изменяется при этом содержание биополимеров, нами оценены химическими методами показатели влажности и зольности древесины, количества целлюлозы и лигнина (Рисунок 6). Динамика этих показателей измерялась на поверхности и в толще пораженных и контрольных элементов. Контрольные образцы, взятые на поверхности элемента конструкции и из глубоко лежащих слоев, были

практически сходны по своим показателям, что указало на возможность использования единого контроля (Рисунок 6).

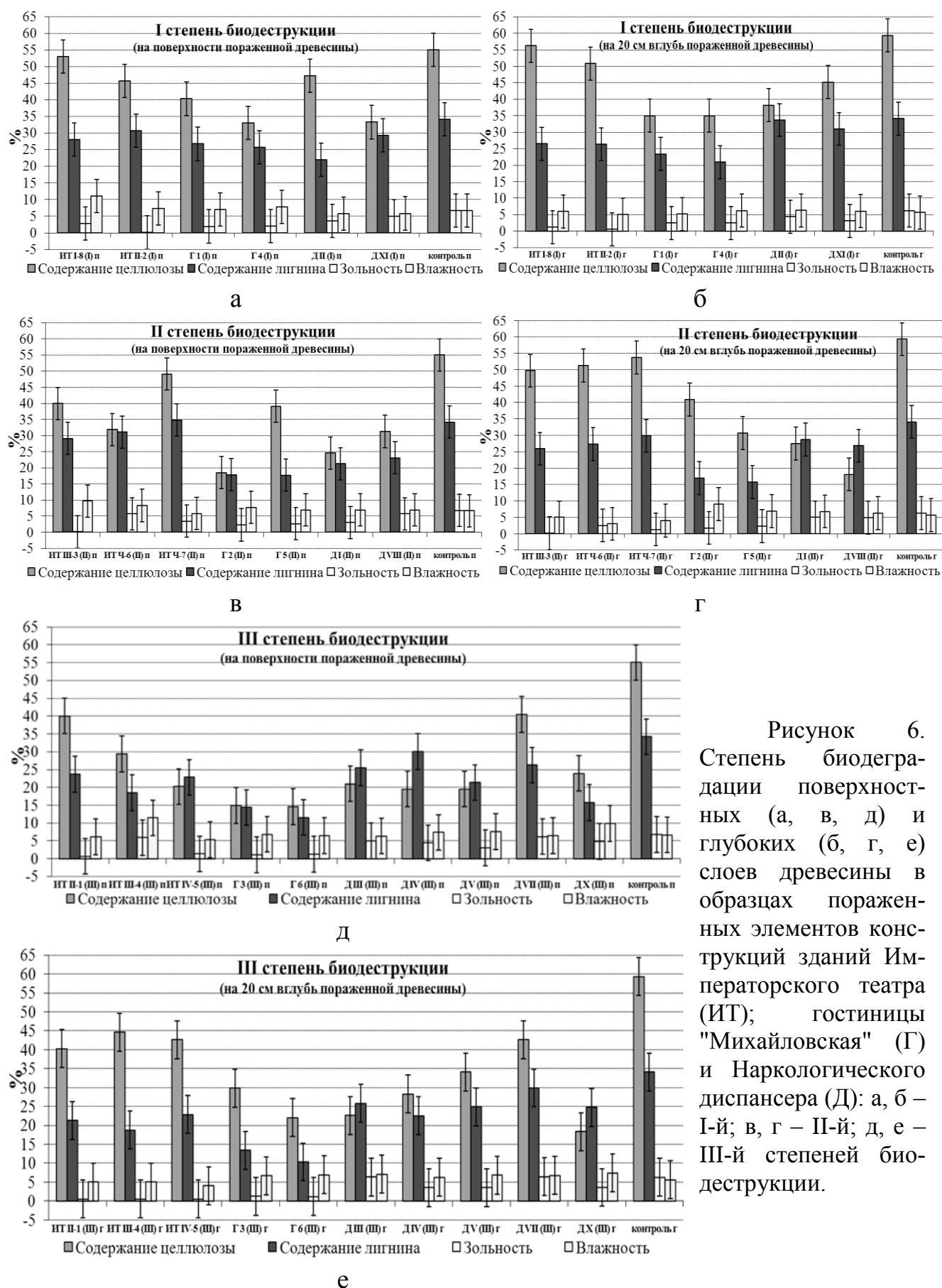


Рисунок 6. Степень биодеградации поверхностных (а, в, д) и глубоких (б, г, е) слоев древесины в образцах пораженных элементов конструкций зданий Императорского театра (ИТ); гостиницы "Михайловская" (Г) и Наркологического диспансера (Д): а, б – I-й; в, г – II-й; д, е – III-й степеней биодеструкции.

В среднем, влажность пораженной древесины при разных степенях интенсивности биодеструкции увеличивалась в 1.2 раза. Зольность деструктурируемой древесины уменьшалась при I-й степени биодеструкции в 2.5 раза, на II-й – в 1.9 раз, на III-й – в 2.7 раза. Количество целлюлозы и лигнина снизилось при I-й степени биодеструкции в 1.3 и 1.1 раза, далее показатели снижались до 1.7–2.1 и 1.3–1.6 раза при III-й степени биодеструкции соответственно (Рисунок 6). Выявлено сходство в изменении содержания основных биополимеров древесины при близких уровнях биодеструкции элементов обследованных зданий. Биодegradация древесины сопровождалась стойким повышением влажности последней. Биологический смысл данного явления в том, что, во-первых, для колонизации древесины грибами необходимо повышение ее влажности, а во-вторых, грибы, колонизируя древесину при благоприятных условиях, повышают ее влажность. Показатели содержания целлюлозы и лигнина в древесине, влажности и зольности можно использовать для оценки степени биодegradации древесины.

5.2. Изменение количества и качества экстрактивных веществ древесины в процессе биодеструкции

Кроме разрушения целлюлозы и лигнина, в процессе биодеструкции исторической древесины происходит накопление экстрактивных веществ: высоко- и низкомолекулярных дериватов лигнина, целлюлозы, хитина из клеточной стенки микодеструкторов, а также поли- и олигопептидов, БАВ и др. (Холькин, 1976; Решетникова, 1997; Феофилова, 2010). Анализ хроматограмм выхода экстрактивных веществ из контрольных образцов интактной исторической древесины, отобранных на поверхности и в толще конструктивных элементов зданий, выявил очень большое сходство их профилей. Поэтому при дальнейших анализах хроматограмм УФ- и масс-спектров пробы контроля использовали в качестве эталона в системе *finger printing* для сравнения образцов различной степени биодеструкции. Хроматограммы пораженной древесины, значительно отличаются от контрольных. В экстрактах присутствовали высокомолекулярные олигомеры, разнообразие и количество которых возрастали по мере биодеструкции, а также низкомолекулярные продукты разложения. Сравнение определенных по времени выхода и спектру УФ-поглощения пиков и масс-спектров позволило выявить разложение лигнина с появлением его дериватов и большего количества разнообразных экстрактивных веществ. Полученные масс-спектры также сравнивали с контролем-эталон по принципу *finger print*, отмечая изменение в характере распределения, высоте пиков, соответствующее процессу разложения основных компонентов древесины. Наиболее характерное изменение наблюдали для образцов III-й степени биодеструкции древесины с участием макромицета. Отмечали накопление как высоко- так и низкомолекулярных олигомеров и их высокое разнообразие (Рисунок 7). С использованием ВЭЖХ и спектральных методов показана возможность выявления различий в качественном и количественном составах экстрактивных веществ интактной и деструктурируемой микобиотой исторической древесины.

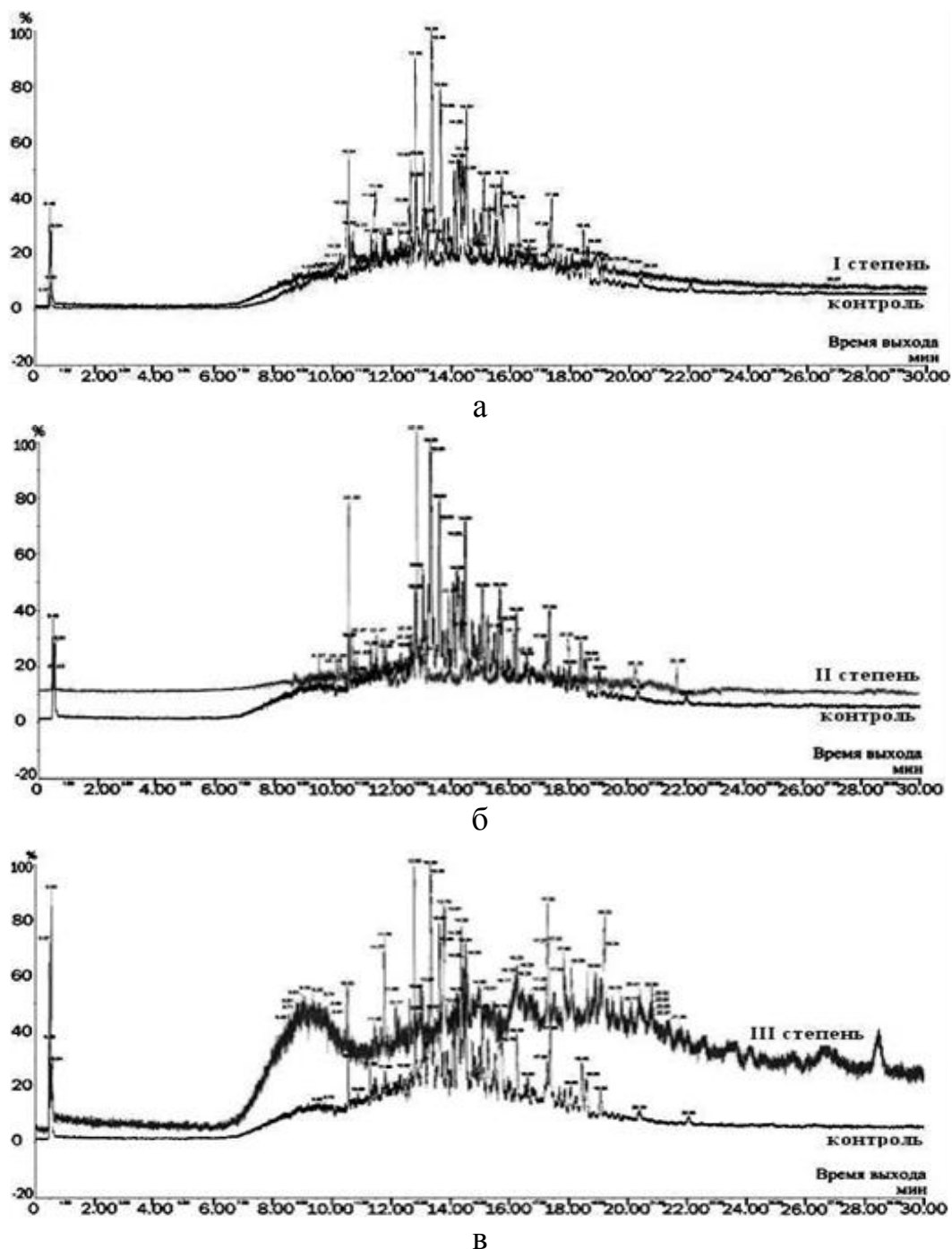


Рисунок 7. Динамика выхода из образцов исторической древесины экстрактивных веществ и их относительные количества (%) в системе ацетонитрил/ муравьиная кислота: а – I-й; б – II-й степени биодеструкции с доминированием микромицетов; в – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans* в сравнении с контролем-эталонном.

Эти различия однозначно указывают на протекание и глубину процессов биодеструкции, что делает ВЭЖХ, УФ- и особенно масс-спектрометрию экспресс-методами для выявления поражений деревянных конструкций, их интенсивности, а также доминирующих грибов и на уровне предварительного диагноза состава деструктурирующих древесину комплексов микобиоты.

Глава 6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ БИОЦИДОВ И ПУТИ КОНСЕРВАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. Фунгицидное действие реставрационных биоцидов на тест-культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины

При оценке фунгицидного действия рекомендуемых КГИОПом реставрационных биоцидов Adolit M flussig и Impragnierung BFA на микодеструкторов древесины в качестве тест-культур выявлен достоверный

фунгицидный эффект для всех исследованных концентраций обоих препаратов. Анализ динамики фунгицидной активности выявил отсутствие стабильного пролонгированного воздействия препаратов на тест-культуры макро- и микромицетов (Рисунок 8).

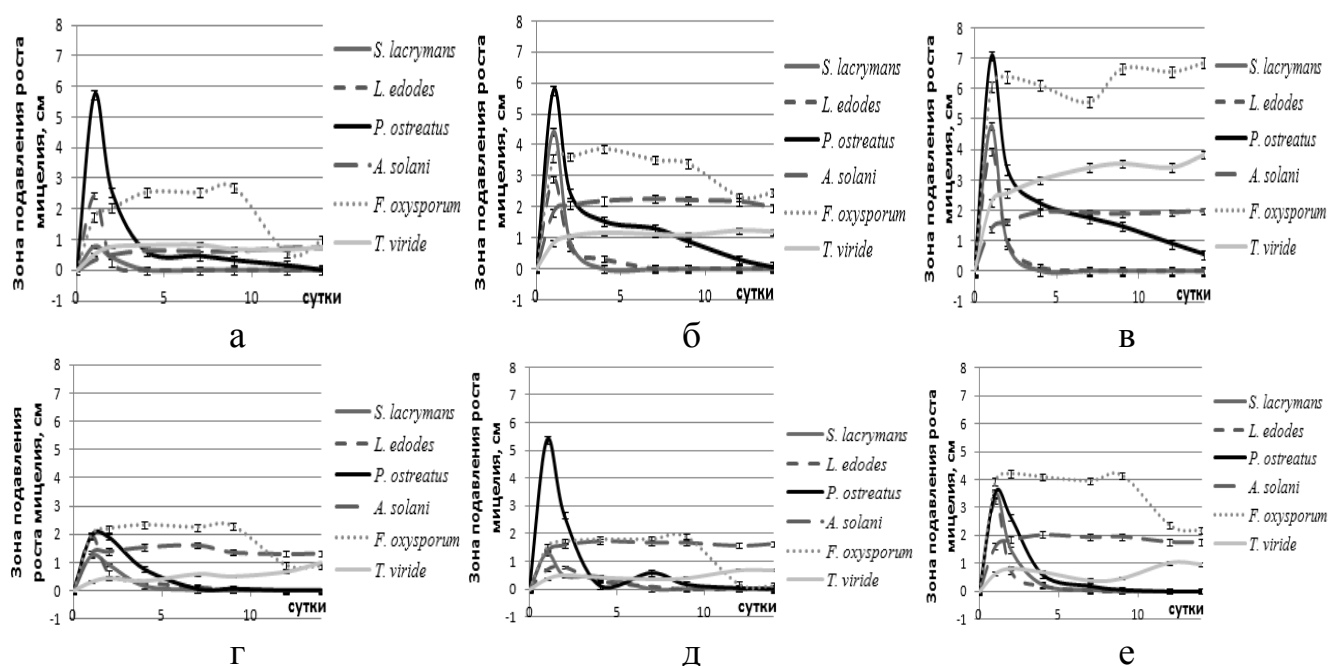


Рисунок 8. Динамика зоны подавления роста мицелия (фунгицидное действие) под воздействием различных концентраций препаратов Adolit M flussig: а – 16 г/л; б – 32 г/л; в – 64 г/л; и Impragnierung BFA: г – 0.375 г/л; д – 0.75 г/л; е – 1.5 г/л.

Отмечали значительный достоверный фунгицидный эффект обоих препаратов, особенно, рекомендованных и повышенных концентраций, в первые 3-е суток после применения, но и достаточно быстрое (на 5–7-е сутки) нивелирование этого воздействия в виде зарастания к 14-м суткам опыта, как зон подавленного роста, так и зон истинного барража мицелия. Наиболее значительное фунгицидное действие на активных микодеструкторов оказали все исследованные концентрации препарата Adolit M flussig. Пролонгированный фунгицидный эффект под воздействием различных концентраций препаратов отмечали лишь для тест-культур *Fusarium oxysporum* и *Alternaria solani* (Рисунок 8). Таким образом, как рекомендованные, так и половинные концентрации препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут быть использованы однократно для купирования процессов колонизации исторической древесины как микро-, так и макромицетами.

6.2. Фунгистатическое действие реставрационных биоцидов на тест-культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины

При анализе фунгистатического эффекта рост тест-культур при воздействии любой из исследованных концентраций обоих реставрационных фунгицидов либо не происходил вообще, либо в 2–9 раз средняя скорость роста мицелия в контрольных вариантах была выше, чем в опытных. То есть достоверный выраженный длительный фунгистатический эффект зафиксировали для всех исследованных концентраций препаратов

Adolit M flussig и Impragnierung BFA на 6-и тест-культурах макро- и микромицетов (Рисунок 9).

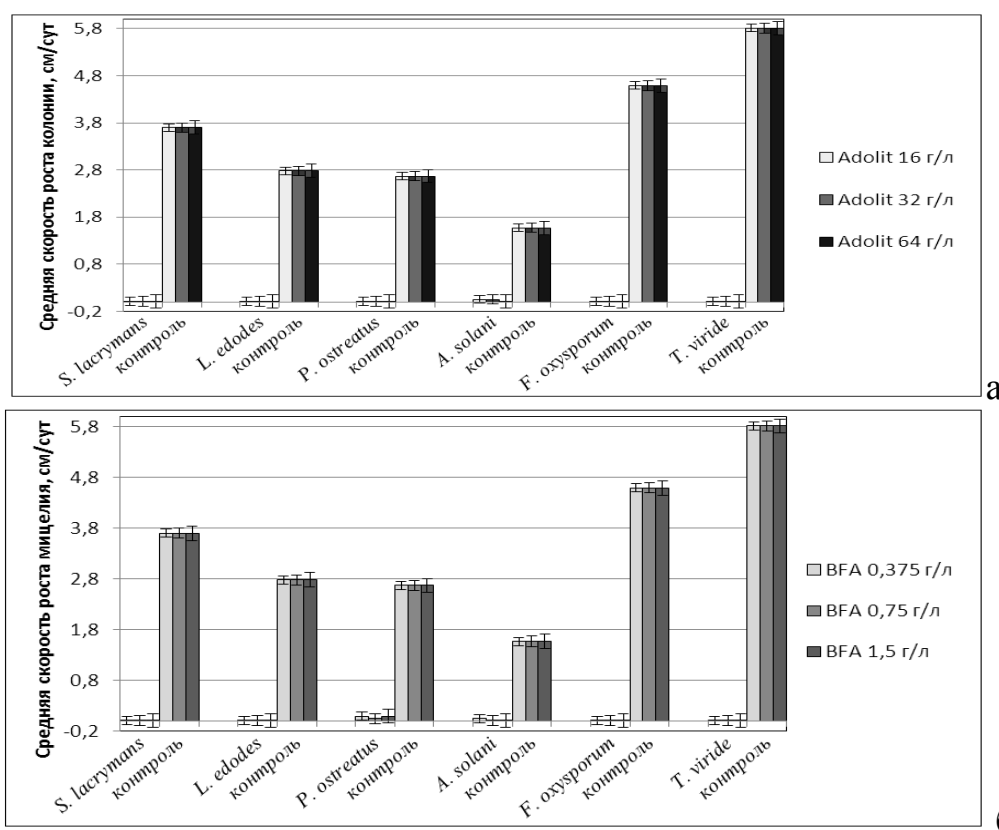


Рисунок 9. Средняя скорость роста мицелия тест-культур при воздействии различных концентраций препаратов (а) Adolit M flussig и (б) Impragnierung BFA.

Таким образом, возможно применение современных реставрационных фунгицидов Adolit M flussig и Impragnierung BFA в качестве превентивных средств на поверхности материалов для предотвращения колонизации деревянных элементов и их микодеструкции. При возникновении очагов поражений как рекомендованные, так и половинные концентрации препаратов могут быть использованы для купирования развития микобиоты на исторической древесине.

ВЫВОДЫ

1. В очагах поражения деревянных элементов конструкций в здании Императорского Театра выявлено 53 вида представителей микобиоты (52 вида микромицетов и 1 вид макромицета), в здании Гостиницы "Михайловская" – 49 видов (48 видов микромицетов и 1 вид макромицета); в деревянном корпусе Наркологического диспансера – 99 видов (95 видов микромицетов и 4 вида макромицетов). По своим таксономическим характеристикам надвидового уровня микобиота очагов поражения деревянных конструкций трех исторических зданий в значительной степени (более 50 %) сходна.
2. Представители микобиоты формируют различные по своему составу и структуре комплексы, включающие доминирующие, частые, редкие и случайные виды, которые в разной степени участвуют в биодеструкции древесины. Сходство комплексов микромицетов выше в образцах элементов конструкций одного здания, находящихся в сходных условиях, обуславливающих одинаковую степень биодеструкции древесины.

3. Осуществляющие глубокую биодеструкцию древесины макромицеты конкурируют с микромицетами за субстрат и формируют условия для образования разнообразных, относительно стабильных по структуре микосинузий.
4. Устойчивые микосинузии биодеструкторов древесины формируются видами *Fusarium*, *Penicillium* и *Aspergillus* в сочетании с различными видами *Acremonium*, *Alternaria* и *Chaetomium*.
5. Процессы биодеструкции древесины сопровождаются сукцессией комплексов колонизаторов, что приводит к уменьшению разнообразия и численности микромицетов в микосинузиях.
6. Выявлено два типа сукцессий микобиоты: быстрые сукцессии – при биодеструкции макромицетом в комплексе с микромицетами, и медленные сукцессии – при биодеструкции микромицетами без участия ксилотрофных базидиомицетов.
7. Биодеструкция древесины I-й и II-й степеней в местах поражений элементов конструкций обусловлена развитием комплексов микромицетов с преобладающими видами *Fusarium*, *Penicillium* и *Aspergillus*, биодеструкция III-й степени – развитием комплексов микро- и макромицетов с доминированием в зданиях Императорского Театра и гостиницы "Михайловская" – *Antrodia xantha*, в здании Наркологического диспансера в разных очагах – *Fibroporia vaillantii*, *Coniophora cerebella*, *Serpula lacrymans*, *Corirolellus serialis*.
8. Микодеструкция исторической древесины в местах поражений характеризуется повышением влажности более чем на 20 %, уменьшением зольности более чем на 50 %, специфичными качественным и количественным составами экстрактивных веществ, выявленными посредством хроматографии, УФ- и масс-спектрометрии (finger prints) по сравнению с данными для непораженных участков конструкций.
9. Медленная биодеструкция микромицетами сопровождается снижением содержания целлюлозы более чем на 20 %, быстрая биодеструкция комплексами макромицета с микромицетами – пропорциональным уменьшением содержания лигнина более чем на 40 % и целлюлозы более чем на 20 % по сравнению с непораженными участками конструкций.
10. Рекомендованные к применению Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП) в реставрации фунгициды Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут использоваться в качестве превентивных средств на поверхности древесины и в очагах поражений для задержки развития микобиоты и биодеструкции элементов конструкций памятников архитектуры.

Список работ по теме диссертации:

1. **Серова, Т. А.** Микобиота древесины исторических памятников архитектуры Санкт-Петербурга и возможности ее контроля с помощью фунгицидов / Т. А. Серова, Ю. А. Титова // Вестник защиты растений. – 2014. – № 2. – С. 33 – 37.
2. **Серова, Т. А.** Химический метод оценки степени биодеградации древесины конструктивных элементов / Т. А. Серова, Ю. А. Титова, Ю. Д. Шенин // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 3 (47). – С. 77 – 89.

3. Казарцев, И. А. Идентификация ксилотрофной микобиоты в двух исторических зданиях Санкт-Петербурга / И. А. Казарцев, **Т. А. Серова**, Ю. А. Титова, Ф. Б. Ганнибал // Микология и фитопатология. – 2014. – вып. 3 (48). – С. 172 – 181.
4. Миронова, С. И. Исследование поражения микроскопическими грибами образцов из сосны и LVL / С. И. Миронова, М. Б. Москалев, А. Л. Ковжина, **Т. А. Серова** // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1 (48). – С. 145 – 152.
5. **Серова, Т. А.** Микобиота исторических зданий Санкт-Петербурга и подходы к определению ее влияния на здоровье человека / Т. А. Серова, Ю. А. Титова // Биомедицина, биотехнология и экологическая безопасность: достижения молодых ученых и специалистов Евразии: материалы Молод. научно-практич. конф. (26–29 марта 2013 г.). – Казань, 2013. – С. 94.
6. **Серова, Т. А.** Микобиота исторических зданий Санкт-Петербурга и сукцессии грибов на строительных конструкциях / Т. А. Серова, Ю. А. Титова // Биология – наука XXI века. 17 Междунар. Пущинская школа-конф. молодых ученых: материалы конф. (21–26 апреля 2013 г.). – Пущино, 2013. – С. 557 – 558.
7. **Серова, Т. А.** Внедрение в реставрационную практику молекулярно-генетических методов исследования [Электронный ресурс] / Т. А. Серова // Научно-популярное издание «Биомолекула». – Режим доступа: <http://biomolecula.ru/content/1186> (дата публикации 22.04.2013)
8. Серов, Е. Н. Сохранение целостности памятников архитектуры Санкт-Петербурга / Е. Н. Серов, А. Е. Серов, **Т. А. Серова** // [Актуальные проблемы архитектуры и строительства](#): материалы V Междунар. конф. (25–28 июня 2013 г.). Ч. 1. – СПб, 2013. – С. 439 – 441.
9. Титова, Ю. А. Микосинузии некробионтных консорциев исторической древесины памятников архитектуры Санкт-Петербурга / Ю. А. Титова, Т. А. Серова // Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке: материалы Междунар. научн. конф. (2–4 октября 2013 г.). – СПб, 2013. – С. 267 – 270.
10. **Серова, Т. А.** Особенности обследования деревянных конструкций на предмет поражения микобиотой, а также некоторые закономерности поражения данных элементов грибами / Т. А. Серова // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы научно-практич. конф. (18 октября 2013 г.). – СПб, 2013. – С. 90 – 94.
11. **Серова, Т. А.** Биологическое разнообразие микобиоты исторических зданий Санкт-Петербурга / Т. А. Серова, Ю. А. Титова // Биологическое разнообразие как основа существования и функционирования естественных и искусственных экосистем: материалы Всероссийской молодежной науч. конф. (8–10 июня 2015 г.). – Воронеж, 2015. – С. 272 – 277.